

DEF 膨張におけるセメント硬化体内の空隙と AFt 生成量の関係

芝浦工業大学 工学部土木工学科
芝浦工業大学 工学部土木工学課程

○廣杉 海琴
伊代田 岳史

1. はじめに

コンクリートの劣化現象の 1 つである DEF (Delayed Ettringite Formation) は、水とセメントの水和反応によって生成されるエトリンガイト (以下 AFt) が一度分解し、再度生成される現象のことを指す。この現象によって、セメント硬化体が膨張し、ひび割れが生じることを DEF 膨張という。DEF 膨張の危険性として、膨張量が非常に大きいことが挙げられる。劣化の見た目が似ているアルカリシリカ反応 (ASR) の膨張率は 0.1% 程度に対し、DEF 膨張は 1% 以上にもなる。ただし、DEF と DEF 膨張の関係は、決して等しい関係ではない。なぜなら既往の研究¹⁾では、高炉スラグ微粉末 (以下 GGBS) を高置換した場合、DEF が発生しているにも関わらず、DEF 膨張に至らないことが確認された。このことから、DEF が起きても、DEF 膨張が生じない原因は未だに不明であり、そのメカニズムの解明が必要である。

本研究では、DEF 膨張メカニズム解明のため、DEF 膨張する要因は、AFt が空隙を押し広げることではないかと考え、セメント硬化体内の空隙に着目した。既往の研究¹⁾を参考に、細孔径分布、AFt 生成量、膨張率を測定し、空隙と膨張の関係を確認した。

2. 実験概要

2. 1 供試体概要

DEF 膨張への硬化体内の空隙の影響を確認するべく、GGBS と AE 剤を用いて硬化体の空隙の大小を変化させた。GGBS の置換率は、OPC に対し 0% (N)、5% (B5)、10% (B10)、20% (B20)、30% (B30)、50% (B50)、70% (B70) とした。AE 剤の添加率は、OPC に対し、0A (N)、2A、5A、8A、10A とした。

W/C=60%、S/C=3.0 の 40×40×160mm の角柱供試体を作製した。また、DEF の促進のため、K₂SO₄ を結合材中の SO₃ 含有率が 6.1% になるように添加した。さらに、蒸気養生の温度履歴を与え、その後 20℃ の水中で静置した。

W/C=60%、S/C=3.0 の 40×40×160mm の角柱供試体を作製した。また、DEF の促進のため、K₂SO₄ を結合材中の SO₃ 含有率が 6.1% になるように添加した。さらに、蒸気養生の温度履歴を与え、その後 20℃ の水中で静置した。

2. 2 試験項目

セメント硬化体内の空隙を確認するため、水銀圧入式ポロシメータ (MIP) を用いて材齢 63 日で細孔径分布を

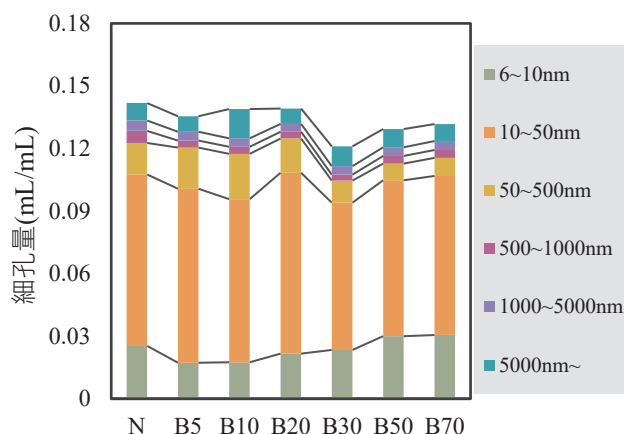


図-1 細孔径分布 (GGBS 置換)

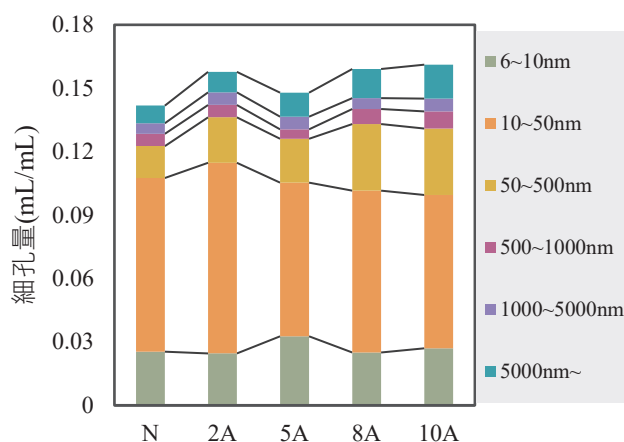


図-2 細孔径分布 (AE 剤添加)

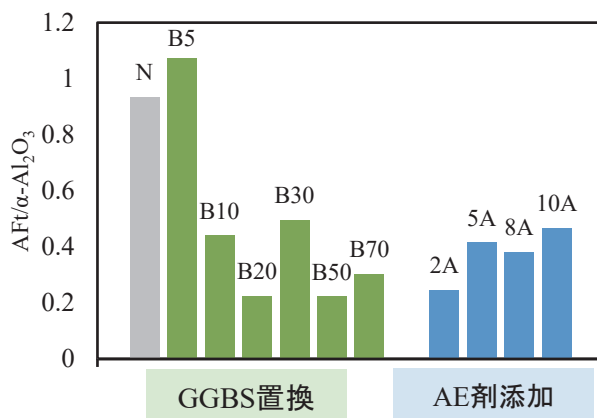


図-3 AFt 生成量

測定した。また、AFt 生成量を確認するため、粉末 X 線回折 (XRD) を用いて細孔径分布計測と同材齢で計測した。さらに、1 週間ごとに長さ変化を測定し、膨張率を計測した。

2. 3 実験結果

材齢 63 日にて MIP を用いて計測した細孔径分布を図-1, 2 に示す。GGBS 置換では、配合による総細孔量の違いは見られなかったが、置換率増加に伴って、6~10nm の空隙の増加および 50~100nm の空隙が減少したことを確認した。一方で AE 剤添加では、添加率増加に伴い、50nm 以上の細孔量が増加することを確認した。

同材齢で計測した AFt 生成量の結果を図-3 に示す。GGBS 置換では、置換率が増加するに伴い、生成量は減少した。一方で AE 剤添加では、添加率が増加するに伴い増加した。

長さ変化試験で計測した膨張率の結果を図-4, 5 に示す。GGBS 置換・AE 剤添加どちらも、材齢 63 日から DEF 膨張が開始していることを確認した。また置換率・添加率ごとに着目すると、両方とも低置換率・低添加率に伴い、膨張率が大きくなることがわかった。

3. 膨張と AFt と空隙の関係

上記の結果を踏まえて、膨張が大きく変化する材齢 63 日における AFt 生成量と細孔量、材齢 91 日での膨張率の関係を各領域で確認した。なお、細孔量は、総細孔量に対する割合に換算した。図-6 に 50~500nm の細孔量での結果を示す。膨張率が 0.1% 以上の配合 (図中★) は、総細孔量に対する 50~500nm の細孔量の割合が 10% 以上の範囲に多く点していることが分かった。一方で、0.1% 未満の配合 (図中●) は、10% 以下に点していることが分かった。ちなみに、他の領域での 3 つの関係は、それぞれの配合が特徴なく点していたため、他の領域の細孔量は DEF 膨張に影響しにくいと考える。また AFt 生成量に着目すると、多くの配合が 0.2~0.6 の間に点していることが確認された。以上のことから、50~500nm の細孔径は AFt が生成しやすい空隙であることが考えられ、同量の AFt が生成された配合を比較したとき、全体の空隙に対して 50~500nm の細孔径の割合が 10% 以上である方が、DEF 膨張する可能性があることが示唆された。

4. まとめ

- (1) GGBS を置換した場合、置換率増加に伴い、小さい空隙は増え、AFt 生成量は減少し、膨張率は抑制された。一方で AE 剤を添加した場合、添加率増加に伴い、総空隙は増え、AFt の生成量は増加し、膨張率は若干ではあるが抑制された。

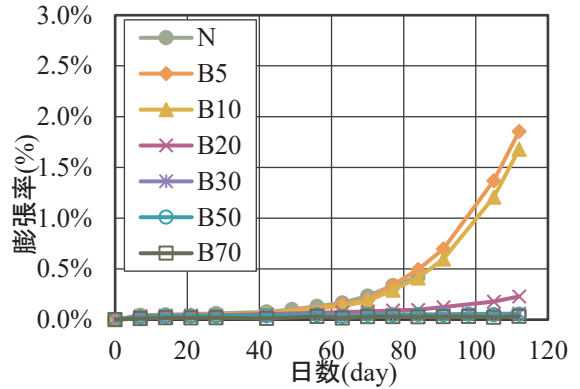


図-4 膨張率 (GGBS 置換)

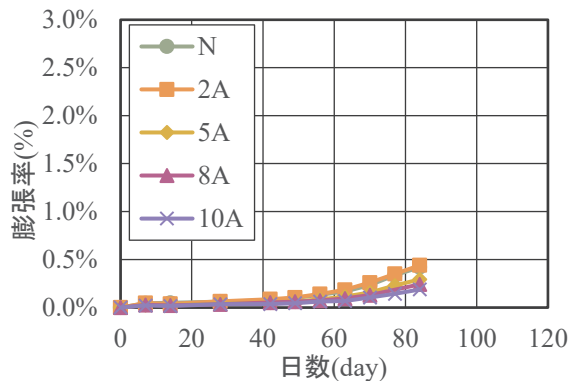


図-5 膨張率 (AE 剤添加)

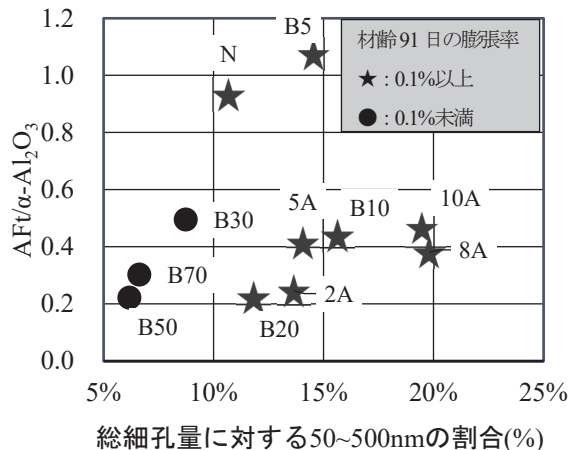


図-6 50~500nm の空隙と AFt 生成量の関係

- (2) AFt 生成量と空隙と DEF 膨張の関係から、50~500nm の細孔量は AFt が生成しやすい空隙であると考えられ、全体の空隙に対して 50~500nm の細孔量の割合が 10% 以上であると、DEF 膨張する可能性があることが示唆された。

【参考文献】

- 1) 伊代田岳史、大橋優樹、後藤誠史：GGBS を用いたセメント硬化体の空隙構造が DEF 膨張抑制に与える影響、第 77 回セメント技術大会講演要旨、p.304-p.305 (2023)